

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Dominik Pieter

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Absolvování individuální odborné
praxe**

**Individual Professional Practice in
the Company**

2018

Dominik Pieter

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Pieter**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Absolvování individuální odborné praxe**
Individual Professional Practice in the Company.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: ATEsystem s.r.o.
2. Struktura závěrečné zprávy:
 - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta.
 - b. Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti.
 - c. Zvolený postup řešení zadaných úkolů.
 - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe.
 - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe.
 - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vedl odbornou praxi studenta.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

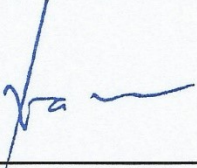
Konzultant bakalářské práce: Ing. Tomáš Gřeš

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

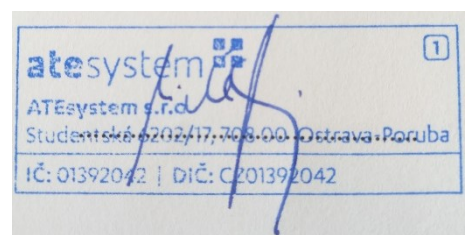
V Ostravě 30. dubna 2018



Dominik Pieter

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 30. dubna 2018



Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Petru Bilíkovi, PhD za trpělivost a rady při vypracovávání bakalářské práce a Ing. Filipu Volnému, Ing. Lukáši Richtárovi a Ing. Tomáši Gřešovi i všem dalším zaměstnancům firmy ATEsystem, s.r.o. za pomoc a praktické rady při vykonávání bakalářské praxe.

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje absolvování bakalářské praxe ve společnosti ATEsystem s.r.o. Tato práce se specializuje na obor strojové vidění, zejména pak na testy a studie proveditelnosti, výběr správných komponent pro strojové vidění a programování úloh v jazyce LabVIEW a v prostředí VBAI. Dokument dále popisuje jednotlivé postupy pro návrh kamerových sestavy.

Klíčová slova

strojové vidění, studie proveditelnosti, návrh kamerových sestav, LabVIEW, VBAI

Abstract

This bachelor thesis describes individual professional practice in ATEsystem s.r.o. company. This work is specialized in the field of machine vision, especially tests and feasibility studies, selection of the right components for machine vision and task programming in LabVIEW and VBAI. The document also describes various methods for the design of camera assembly.

Keywords

machine vision, feasibility study, design of camera assemblies, LabVIEW, VBAI

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Zaměření společnosti.....	12
2.1	Vizuální inspekce a strojové vidění.....	12
2.2	Vývoj vlastních produktů	12
2.3	Systémový integrace produktů NI.....	12
2.4	Komponenty pro strojové vidění.....	12
2.5	Studie a testy proveditelnosti	13
3	Seznam úkolů – studie a testy proveditelnosti	14
3.1	Kurz základy strojového vidění.....	15
3.2	Testování nástřiku barvy	15
3.3	Testování hliníkového chladiče.....	17
3.4	Testování hliníkové formy	19
3.5	Testování hliníkových disků pro automobily	20
3.6	Testování popisu měděných rozbušek.....	22
3.7	Testování popisu křemíkových desek	24
3.8	Detekce pozéru u skleněné lahvičky	27
4	Seznam úkolů – programování	30
4.1	Aplikace pro detekování přítomnosti komponentů a měření rozměrů	30
4.2	Demo pro prezentování PGI funkcí a věrnosti barev kamer Basler ace L	32
5	Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe	36
6	Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe	37
7	Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe	38

Sezam Zkratek

HW	Hardware
SW	Software
LabVIEW	Laboratory Virtual Instruments Engineering Bench (programovací jazyk)
VBAI	Vision Builder for Automated Inspection (SW pro zpracování obrazové informace)
MP	Megapixel (rozlišení kamery)
NI	National Instruments (společnost v oblasti automatizace, měření a testování)
UV	Ultra fialové záření
IR	Infračervené záření
NI MAX	Measurement and Automation Explorer (software pro konfiguraci měřících karet, kamer apod.)
FPGA	Programovatelné hradlové pole

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Logo společnosti ATEsystem s.r.o.	12
Obrázek 2 – Odborný kurz základy strojového vidění [3]	15
Obrázek 3 – a) Snímek s nasvícením předního světla b) Snímek s nasvícením zadního světla.....	16
Obrázek 4 – Ukázka řádkové kamery raL4096-24gm s redukcí závitů objektivu na F-mount.....	17
Obrázek 5 – a) Obrazová informace z řádkové kamery b) Prototypová kamerová sestava	17
Obrázek 6 – Rozdíl mezi normálním a telecentrickým objektivem [6]	18
Obrázek 7 – a) Obrazová informace chladiče b) Prototypová kamerová sestava	19
Obrázek 8 – a) Řešení bez náklonu b) Řešení s náklonem	20
Obrázek 9 – a) Řešení bez náklonu kamerová sestava b) Řešení s náklonem kamerová sestava	20
Obrázek 10 – a) Objektiv s $F = 8$ mm b) Objektiv s $F = 16$ mm	21
Obrázek 13 – Kamerová sestava pro test popisu rozbušky	23
Obrázek 14 – Problémové desky a) JRK19692-22-C5 b) PRK20079-15-B7	24
Obrázek 15 – Výsledek problémových desek s osvětlením Smart View LL120W120	24
Obrázek 16 – Osvětlení se dvěma světly Smart View LL120W120.....	25
Obrázek 17 – Nasvícení pomocí Effilux EFFI BL_200_200.....	25
Obrázek 18 – Nasvícení pomocí segmentů světla Smart View LL30W120	26
Obrázek 19 – Graf procentuální propustnosti světla v závislosti na vlnové délce [7]	26
Obrázek 20 – Nasvícení s IR světlem Effilux	27
Obrázek 21 – Výsledek nasvícení problémových desek IR světlem.....	27
Obrázek 22 – a) Průřez osvětlovače typu temné pole[9] b) Princip použití světla[10].....	28
Obrázek 23 – a) Světlo – Zadní nasvícení b) Světlo – Temné pole	28
Obrázek 24 – a) Výsledná kamerová sestava b) Skleněná lahvička	29
Obrázek 25 – Výsledná kamerová sestava pro detekci přítomnosti prvků	30
Obrázek 26 – Správně vyrobený výrobek (OK kus)	31
Obrázek 27 – Nesprávně vyrobený výrobek (NOK kus)	32
Obrázek 28 – Čelní panel, PGI funkce zapnuty	33
Obrázek 29 – Čelní panel, PGI funkce vypnuty.....	33
Obrázek 30 – Ukázka části kódu hlavní smyčky v LabVIEW	34
Obrázek 31 – Ukázka celkové sestavy	35

1 Úvod

Bakalářská práce byla provedena formou odborné individuální praxe ve společnosti ATEsystem s.r.o., kde byla prováděna v oddělení systémové integrace a v oddělení prodej kamerových komponent. První část praxe se zabývala testováním kamerových komponent a studiemi proveditelnosti. Jednalo se o analýzu, návrh a realizaci kamerových sestav dle podkladů a podmínek, které zákazník požadoval. Druhá část se zabývala programováním v jazyce LabVIEW. Součástí odborné praxe bylo také absolvování kurzu „základy strojového vidění“, které mělo za cíl představit problematiku a základní znalosti z této oblasti.

2 Zaměření společnosti

Obchodní společnost ATEsystem s.r.o. byla založena v roce 2013 pěti zakladateli s dlouhými zkušenostmi a znalostmi. ATEsystem s.r.o. je poměrně mladou, avšak dynamicky se rozvíjející společností. V současnosti má společnost přes 25 zaměstnanců.



Obrázek 1 – Logo společnosti ATEsystem s.r.o.

Společnost se zabývá několika oblastmi: vizuální inspekce a strojové vidění, měřicí a monitorovací systémy, systémová integrace produktů NI, dodávky komponent pro strojové vidění a studie proveditelnosti.

2.1 Vizuální inspekce a strojové vidění

ATEsystem s.r.o. vyvíjí a dodává systémy pro strojové vidění a vizuální inspekci. Používá k tomu snímání obrazu pomocí průmyslových kamer. Obrazovou informaci z těchto kamer z pravidla vyhodnocuje počítačová sestava. Na základě vyhodnocení např. měření rozměrů, kvalita povrchu, kontrola přítomnosti součástí, kontrola potisku, se dále vykonává automatizovaná činnost, jako vyřazení produktů, které nesplňují normy apod. [1]

2.2 Vývoj vlastních produktů

Pro potřeby zákazníka se nejčastěji tyto systémy vyvíjejí na míru. Společnost vyvinula několik vlastních produktů např. detekce přítomnosti ochranného laku, kameru s motorizovaným objektivem, vlastní proudové zdroje pro napájení LED modulů atd. [1]

2.3 Systémový integrace produktů NI

ATEsystem je systémový integrátor produktů NI, členem sítě NI Alliance Partner Network, poskytující školení a podporu pro produkty společnosti National Instruments. Společnost se stala v červnu roku 2017 Silver Alliance Partner společnosti National Instruments a jako první v ČR je zařazena do významné skupiny partnerů National Instruments s certifikací Vision Specialty. [1]

2.4 Komponenty pro strojové vidění

Společnost je autorizovaným prodejcem kamer BASLER a JAI pro Českou republiku. Dále distribuuje řadu dalších produktů, jako jsou 3D kamery a snímače, objektivy (např. Kowa, Basler, Computar atd.), světla (např. SmartView, Effilux, CCS atd.), filtry, software, kabeláže atd.[1]

2.5 Studie a testy proveditelnosti

Před tím, než zákazník objedná komponenty nebo celkovou sestavu se softwarovým řešením, se provádí studie a testy proveditelnosti. Obvykle se podle požadavků zákazníka vybírají vhodné komponenty. Touto oblastí se zabývala také část mé odborné praxe ve firmě.

3 Seznam úkolů – studie a testy proveditelnosti

K finálnímu návrhu aplikace pro strojové vidění vede v celku složitá cesta. Jednou z nejdůležitějších a základních částí je studie a test proveditelnosti. Tyto studie jsou nezbytné pro to, aby se neplýtvalo časem a prostředky pro neefektivní práci. Zejména je pak důležité zjistit, jestli je vůbec možné daný požadavek zákazníka uskutečnit. Obvykle nestačí pouze zadání požadavků zákazníkem. Většinou musí daného zákazníka navštívit tým, který analyzuje podmínky v provozu. Klade se důraz na ovlivnění vnějších vlivů na testování, jako je osvětlení, vibrace, omezení prostoru, délka provedeného testu atd. Tato analýza musí být důkladně provedena, aby se předešlo případným pozdějším chybám při navrhování komponentů a SW, které by byly velmi finančně a časově náročné. Z analýzy prototypového produktu, který zákazník propůjčí, je možné začít sérii testů pro návrh HW řešení. V této části návrhu se většinou vybere úzké portfolio komponentů, které se otestuje a následně vybere to s nejlepším výsledkem. [2]

Komponenty pro návrhy řešení:

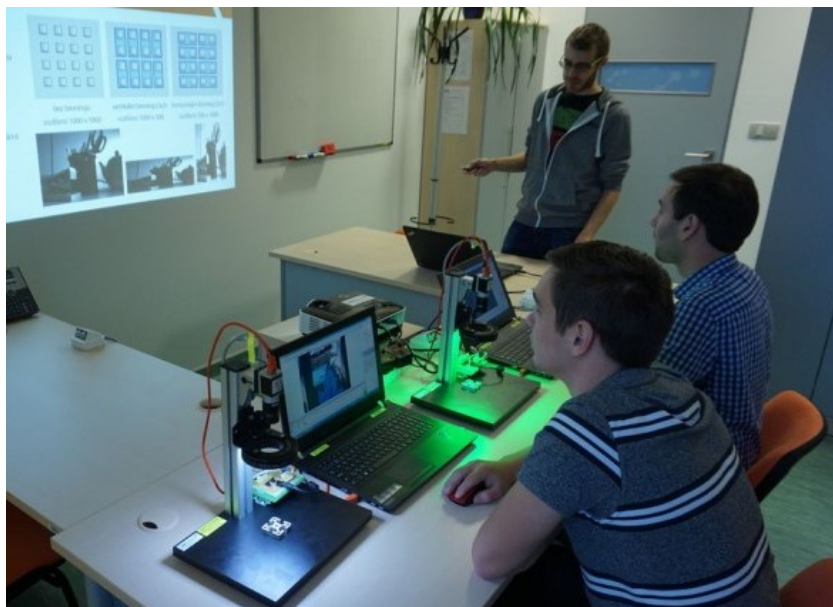
1. Kamerové snímače – dle zadání vybíráme vhodnou kameru. Existují dva základní typy řádkové a maticové kamery. Řádkové kamery snímají obraz po řádcích (mají pouze jeden řádek pixelů). Obraz se pak převážně skládá synchronizovaným pohybem předmětu v zorném poli kamery. Tento typ kamery je vhodný pro snímání např. kulatých nebo rozměrově dlouhých předmětů (např. pás papíru či plechu). Maticová kamera snímá obraz plošně. Podle velikosti čipu sestaví obraz, kde jeden pixel (obrazový prvek) je jeden bod obrazové informace. Výsledkem je pak celkový 2D obraz, tak jak ho známe (např. 1920x1080 pixelů). Z těchto dvou druhů pak vybíráme důkladněji typy kamer, které odpovídají požadavkům zákazníka a řešené analýze. Například parametry kamery jako černobílá nebo barevná, citlivá na IR záření, rozlišení kamery, komunikační rozhraní atd. [2], [4]
2. Objektivy pro kamery – mezi hlavní parametry pro výběr patří pracovní vzdálenost a velikost zorného pole, čehož se dá dosáhnout zvolením vhodné ohniskové vzdálenosti. Ohnisková vzdálenost se obvykle používá pro typové označení objektivů. Rozhodují také další parametry jako typ závitu, odolnost, fokus, spektrální propustnost, hloubka ostrosti, rozlišení objektivu. [5]
3. Osvětlovač / světlo – závisí na něm kvalita obrazové informace, proto je důležité nezanedbat jeho výběr. K osvětlení scény se dají použít tyto dva základní druhy světél – přední a zadní nasvícení (front light, back light). U předního nasvícení můžeme definovat několik typů, jako směrové světlo nebo difúzní. Další typy, jako s širokým nebo úzkým úhlem nebo barva světla.
4. Další komponenty – mezi další potřebné komponenty pro návrh sestavy patří distanční kroužky, polarizační filtry, redukce závitů, filtrační fólie, kabeláž, napájení světél a kamer.

Časová náročnost: **35 dní**

3.1 Kurz základy strojového vidění

Součástí bakalářské praxe bylo absolvování kurzu základy strojového vidění. Tento kurz probíhal 2 dny. Jeho cílem bylo oboznámit základní problematiku strojového vidění a poskytnout důležitou know-how pro vykonání bakalářské praxe. Součástí kurzu bylo:

- porozumět, jak pracují základní typy kamer a správně nastavit parametry v SW pylon Viewer od společnosti Basler
- rozdíly mezi obrazovými snímači CCD a CMOS.
- výběr nasvícení a použití optických filtrů
- vlastnosti a výhody řádkových kamer
- pro konkrétní aplikaci navrhnout kamerovou sestavu dle zadaných požadavků



Obrázek 2 – Odborný kurz základy strojového vidění [3]

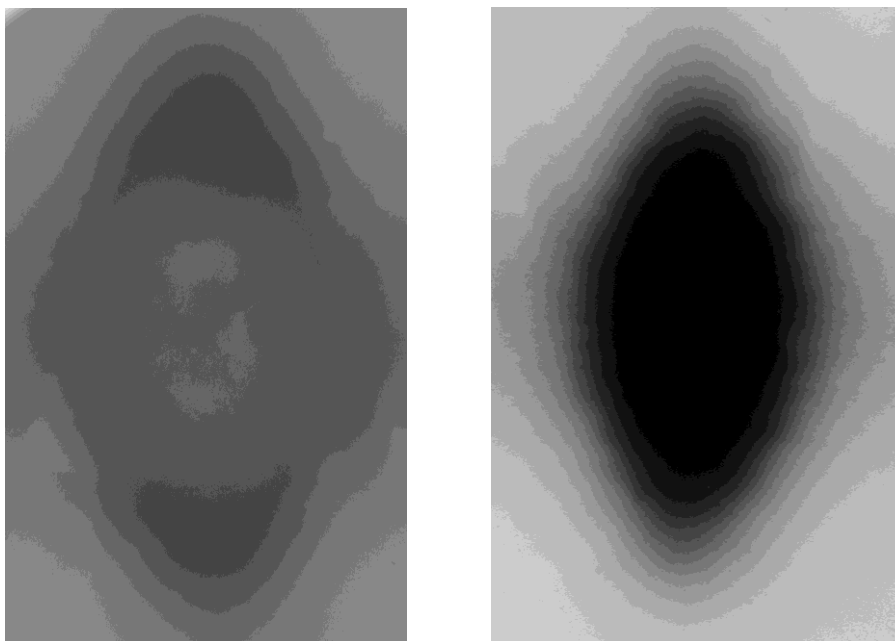
3.2 Testování nástřiku barvy

Při výrobě stříkacích pistolí na barvu chtěl zákazník zjistit, zda je vyrobený produkt správně kalibrovaný a připravený pro použití. Podle zadané kalibrační předlohy, již chtěl zákazník použít jako etalon, bylo potřeba navrhnout automatizovaný proces, který měl zaručit přibližně stejné výsledky u všech těchto produktů. Podklad, který zákazník poskytl, byla fólie s nástřikem barvy (dobrá a vadná).

Úkolem bylo pro tyto podmínky postavit kamerovou sestavu. Na aplikaci se hodily oba typy kamer, jak řádková, tak maticová, i když zorné pole u maticové kamery bylo na hraně velikosti, jelikož vzdálenost od objektivu nesměla přesáhnout 50 cm.

Nejprve byl proveden test s maticovou kamerou. Byla použita kamera Basler acA2500-14uc s objektivem Basler Lens C125-1218-5M s ohniskovou vzdáleností 12 mm. Kamera má rozlišení 5

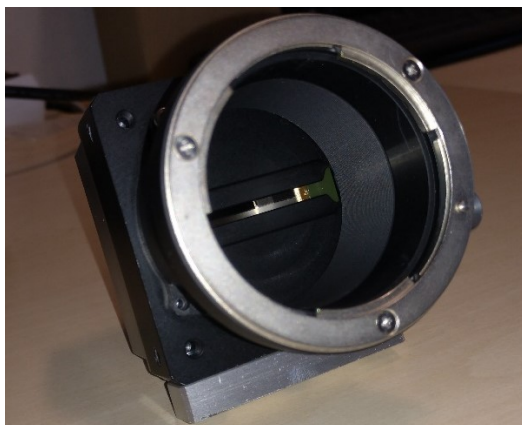
MP což zaručí dostatečné detaily obrazové informace. Jelikož aplikace nevyžadovala barevný obraz, byl v nastavení kamery vybrán monochromatický režim. Lepší řešení by bylo použít čistě monochromatickou kameru, avšak ta nebyla k dispozici. Pro prvotní testy však byla zvolená kamera dostačující. Pro nasvícení fólie bylo použito přední difuzní světlo s přímým nasvícením Effilux Effi 200_200_000. Tato zvolená metoda se však nejevila jako správná, jelikož výsledek byl nejednoznačný, jak lze pozorovat z obrázku 3 a), proto bylo světlo zaměněno za zadní nasvícení (back light) pro lepší zvýraznění přechodu nástřiku barvy obrázek 3 b). Jelikož se jednalo o průhlednou folii, byla tato záměna možná.



Obrázek 3 – a) Snímek s nasvícením předního světla b) Snímek s nasvícením zadního světla

Před použitím zadního světla Lifud LED panel IMMAX 08838L, které nebylo průmyslově navrženo, se objevil problém se zdrojem světla, který při pohledu z kamery blikal (pravděpodobně vliv napájecího zdroje nebo regulace jasu PWM). Tento problém byl nepříjemný pro další testování, tudíž se muselo navrhnout přechodné řešení napájení světla, a to v podobě napájení laboratorním zdrojem s nastavením proudového omezení podle původního zdroje tj. $I_{\text{vst}} = 450 \text{ mA}$ a napětím $U_{\text{vst}} = 35 \text{ V}$.

Následovalo testování s řádkovou kamerou Basler raL4096-24gm, jež má vysoké rozlišení 4K a rychlost snímání 26 kHz. Pro toto navržení bylo nutné postavit fólii na pojízdný stojan pro zobrazení fotografie. Jelikož se jednalo o testování, stojan se pohyboval ručně, tudíž není možné docílit vždy stejné fotografie. V praxi by byla fólie umístěna na pohyblivé lince, se kterou by měla řádková kamera synchronizovanou rychlost. Ke kameře byl připojen objektiv Nikon AF NIKKOR F35-70mm, opět pouze jen pro test proveditelnosti. Tato sestava zobrazí nejlepší detaily, jak je možno pozorovat na obrázku 5 a). Výslednou prototypovou kamerovou sestavu lze pak pozorovat na obrázku 5 b).



Obrázek 4 – Ukázka řádkové kamery raL4096-24gm s redukcí závitu objektivu na F-mount



Obrázek 5 – a) Obrazová informace z řádkové kamery b) Prototypová kamerová sestava

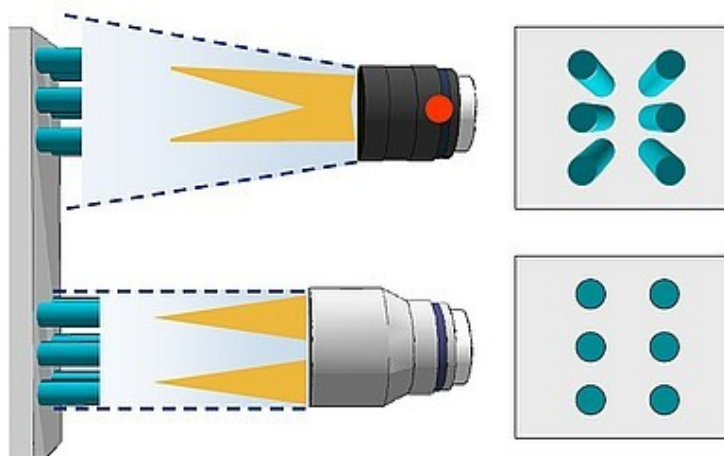
Výsledky jsou poté představeny zákazníkovi. Následně vyvíjená SW aplikace a testování v reálných podmínkách ukáže, která ze sestav bude pro aplikaci vhodnější, jestli postačí levnější varianta maticové kamery nebo bude muset být použita složitější sestava s řádkovou kamerou. Vzdálenost fólie od objektivu byla zhruba 45 cm.

3.3 Testování hliníkového chladiče

Zákazník požadoval testování hliníkového chladiče, u něhož chtěl zjistit, jestli se v žebrové části nenacházejí odštěpy hliníku.

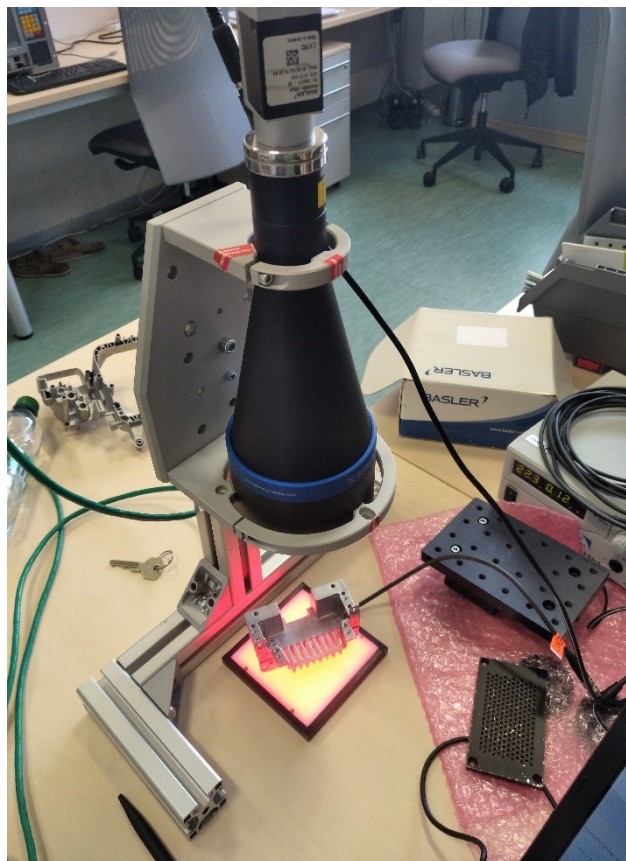
Tato aplikace vyžadovala stejný obraz v celém zorném poli (potřebujeme vidět skrz mřížovou oblast nezkresleně). Proto byl u aplikace použit telecentrický objektiv, do kterého paprsky vcházejí paralelně s osou objektivu, což má za následek konstantní zvětšení, (nezáleží na vzdálenosti od objektivu, všechny objekty vidíme stejně velké). Na obrázku 6 lze vidět rozdíl mezi běžným a telecentrickým

objektivem. U telecentrického objektivu nastává problém u ostření, kdy nelze objektiv zaostřit jinak než přiblížením nebo oddálením snímaného předmětu. S tímto problémem se musí uvažovat při návrhu kamerové sestavy. [5]



Obrázek 6 – Rozdíl mezi normálním a telecentrickým objektivem [6]

K objektivu byla přidána kamera s velkým čipem, aby bylo možné zobrazit celou část zorného pole, jenž telecentrický objektiv umožňuje. Velikost zorného pole je limitována průměrem velikosti objektivu. Proto byla vybrána kamera Basler acA1920-50gm s velikostí čipu 11,3 mm x 7,1 mm, který zajistil, že bylo vidět potřebnou část chladiče. Jako telecentrický objektiv byl použit Bi-Telecentrický od společnosti Opto Engineering TC 23-064. Na obrázku 7 a) lze vidět testovaný chladič bez odštěpů hliníku a na obrázku 7 b) lze vidět výslednou kamerovou sestavu. Vzdálenost objektivu a předmětu byla cca 15 cm.



Obrázek 7 – a) Obrazová informace chladiče b) Prototypová kamerová sestava

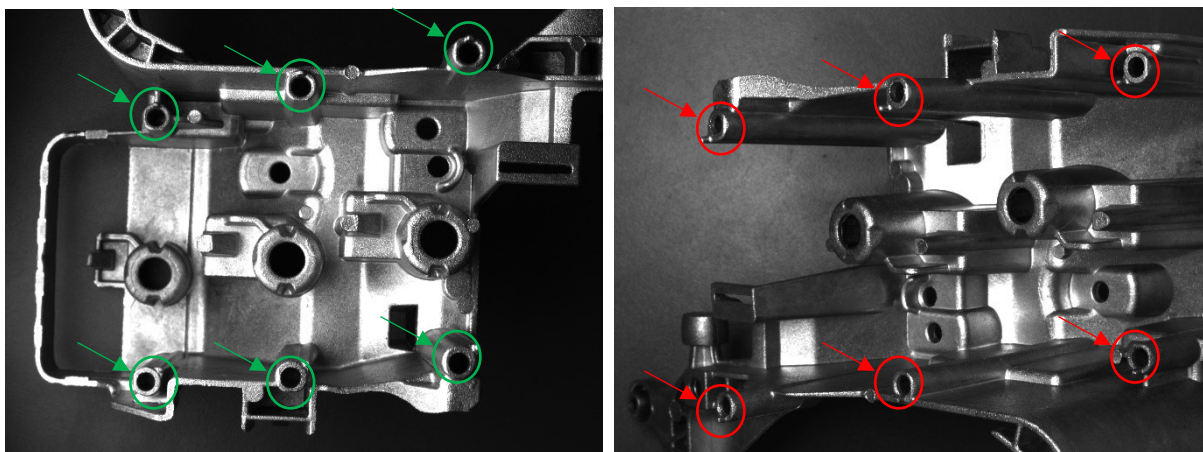
3.4 Testování hliníkové formy

Při tomto testu proveditelnosti zákazník požadoval měření vzdálenosti děr při výrobě hliníkové formy, a to s tolerancí 0,3 mm. Pro měření vzdálenosti bylo využito znalosti optické soustavy a znalosti velikosti pixelů v kameře.

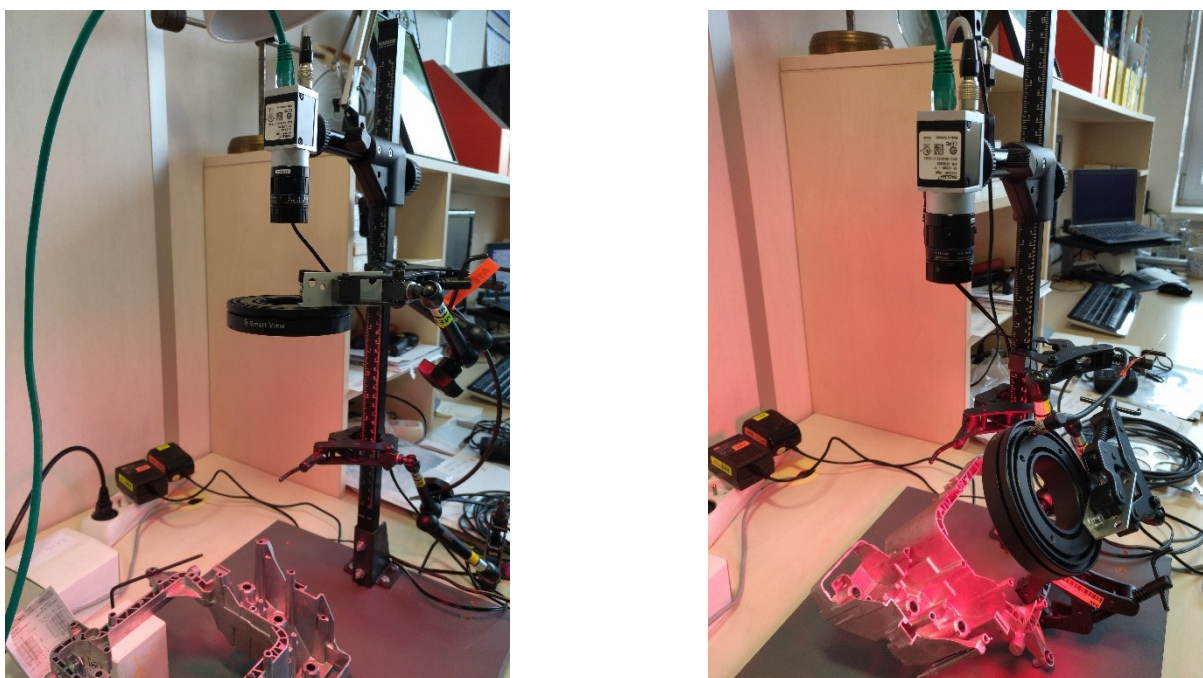
Problém při sestavě kamerové sestavy spočíval v nasvětlení objektu a hloubce ostrosti. Díry nebyly ve stejné výšce, a tudíž bylo obtížné je všechny zaostřit. První řešení spočívalo v zvětšení pracovní vzdálenosti tak, aby se zvětšila hloubka ostrosti a zároveň zůstalo zachováno požadované zorné pole.

Pro toto řešení byl použit objektiv Basler Lens C125-1620-5M s ohniskovou vzdáleností 16 mm. Toto řešení zobrazují obrázek 8 a) a obrázek 9 a)

Druhým řešením bylo naklonění hliníkové formy tak, aby díry ležely v jedné rovině. I když bylo světlo nastaveno do takové polohy, aby se odrazilo směrem do objektivu, nastal problém s odrazem světla, kdy díry nebyly dostatečně kontrastně a velikostně vidět pro pixelové měření vzdálenosti (černý otvor děr se nejevil všude stejně). Tento jev a srovnání s předchozím řešením lze pozorovat na obrázku 8 b), obrázku 9 b). Pro toto řešení byl použit objektiv Basler Lens C125-1218-5M s ohniskovou vzdáleností 12 mm.



Obrázek 8 – a) Řešení bez náklonu b) Řešení s náklonem



Obrázek 9 – a) Řešení bez náklonu kamerová sestava b) Řešení s náklonem kamerová sestava

Pro obě řešení byla použita monochromatická kamera Basler acA2500-14gm a světlo Smart View RL-100R60 s červeným světlem a pracovní vzdáleností cca 35 cm.

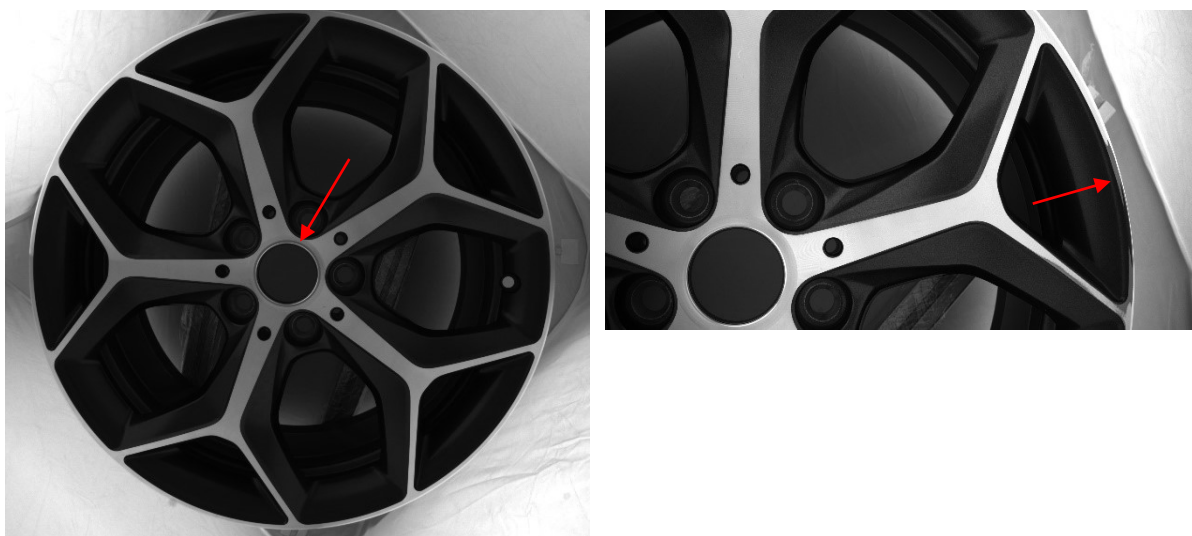
První řešení bylo předáno systémové integraci, kde bude odzkoušeno, zda lze obrazová informace z kamery softwarově vyhodnotit.

3.5 Testování hliníkových disků pro automobily

Zadání bylo testovat hliníkové disky pro automobily, zda nedošlo při výrobě k poškrábání nebo neúplnému frézování disků.

Problém u tohoto testu spočíval v rozměrech disků, které byly rozměrově objemné. Bylo třeba simulovat homogenní nasvícení disků ve všech částech. Pro tento účel byl použit fotografický stan.

První pokus byl vyzkoušen bez použití přídavného světla, avšak výsledek nebyl dostatečně světelný. Při použití postranních světel byly nedostatky vidět zřetelněji. Byla použita monochromatická Kamera acA4096-11gm s vysokým rozlišením 9 MP a velkým 1“ čipem, který dokáže kvalitně zobrazit nedostatky na disku. Nejprve byl odzkoušen objektiv Kowa LM6HC s ohniskovou vzdáleností 6 mm, kde je vidět v zorném poli celý disk (obrázek 10 a)). Následně se snímalo i s objektivy s vyšším ohniskovým číslem Kowa LM16JC10M s ohniskovou vzdáleností 16 mm. S tímto objektivem šlo pozorovat detailněji jednotlivé úseky disku, avšak výsledný systém by s tímto omezením musel počítat a celkový obraz by bylo třeba poskládat z několika takto pořízených snímků, jak lze vidět na obrázku 10 b).



Obrázek 10 – a) Objektiv s $F = 8$ mm b) Objektiv s $F = 16$ mm

Na obrázku 10 lze vidět nedostatky při obrábění a poškrábání disků, které měl za cíl test odhalit. Ve skutečnosti je obrázek několikrát větší a detaily viditelnější. Pro nasvícení světel LED panel IMMAX 08838L byly použity znovu laboratorní zdroje s napájením světel $I_{\text{vst}} = 1,2$ mA a napětím $U_{\text{vst}} = 35$ V. Výsledná kamerová sestava je ukázána na obrázku 11.

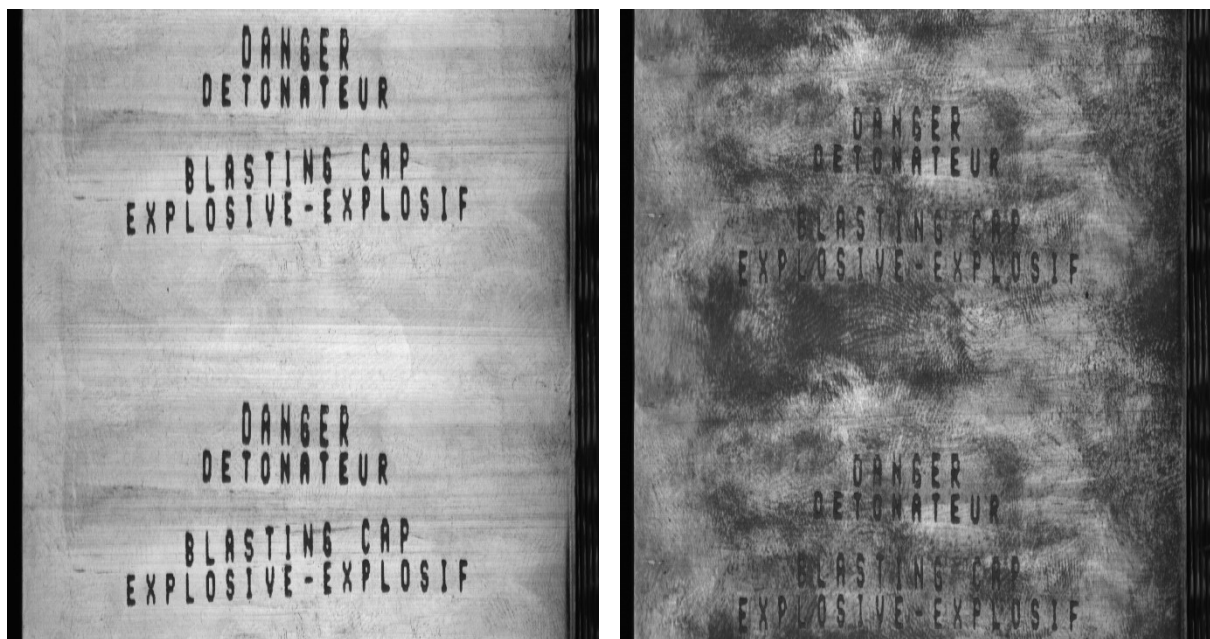


Obrázek 11 – Ukázka kamerové sestavy pro testování hliníkových disků

3.6 Testování popisu měděných rozbušek

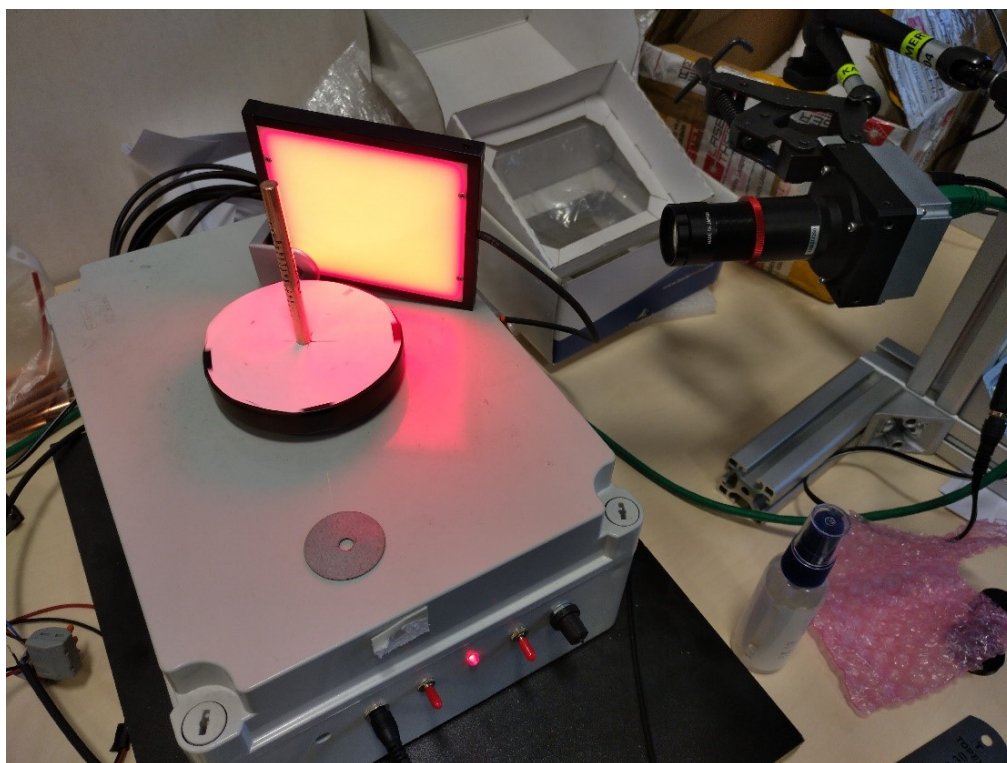
Požadavek zákazníka byl testovat popisy, jež jsou natištěny na měděný obal. Jednalo se pouze o detekci nápisu (zda je nápis přítomen), nikoliv o čtení textu.

Jelikož se jednalo o válcovitý povrch, musela být při tomto testu použita řádková kamera. Válcovitá měděná rozbuška byla umístěna na automatický otočný válec. Problém nastal tehdy, když se nahnula rozbuška mimo řádek kamery, pak nápis nebyl čitelný. Pomocí vodováhy se musel vyrovnat náklon kamery a rozbušky. Jelikož průměr rozbušky byl cca 1 cm, musela být odchylka náklonu co nejmenší, nicméně i pak byl text mírně nakloněn (obrázek 12 a)). Tento náklon nečinil problém, protože smyslem testu byla přítomnost textu (detekce černých hran, písmen, na bílém podkladu). V testovaných kusech byl také jeden kus, u něhož byl nápis těžce čitelný. Avšak tento kus měl být nakonec vyhodnocen jako chybný, takže se testování nemuselo opakovat (obrázek 12 b)).



Obrázek 12 – a) Správný popis rozbušky b) Chybný popis rozbušky

K testování byla použita řádková černobílá kamera Basler raL4096-24gm s průmyslovým objektivem Kowa LM50JCM-V, který má ohniskovou vzdálenost 50 mm. Jako světelný zdroj bylo vybráno boční nasvícení Smart View LP-90R-24V s homogenním rozptylem. Světlo bylo v úhlu tak, aby se paprsky od rozbušky odrážely do objektivu. Celková kamerová sestava je zobrazena na obrázku 13.



Obrázek 13 – Kamerová sestava pro test popisu rozbušky

3.7 Testování popisu křemíkových desek

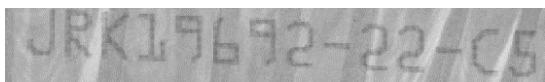
Úkolem bylo přečíst potisky vytištěné na okrajích křemíkových desek (waferů) pro účely výroby.

Toto testování bylo velmi složité hlavně v oblasti výběru kamerových komponent a umístění těchto komponent. Přibližně 20 desek mělo různé barvy povrchů (světlý, tmavý), proto byl složitý výběr jednotného osvětlení, jelikož muselo vyhovovat pro všechny druhy desek. Zejména obtížné to bylo u dvou typů desek s nápisem JRK19692-22-C5 (šedé pruhy se stejnou monochromatickou úrovní, obrázek 14 a)) a PRK20079-15-B7 (text je překryt bílým pruhem, obrázek 14 b)). Tyto desky jsou pro oko čitelné, avšak pro strojové vidění, které se vyhodnocuje softwarově, je tato obrazová informace neakceptovatelná.

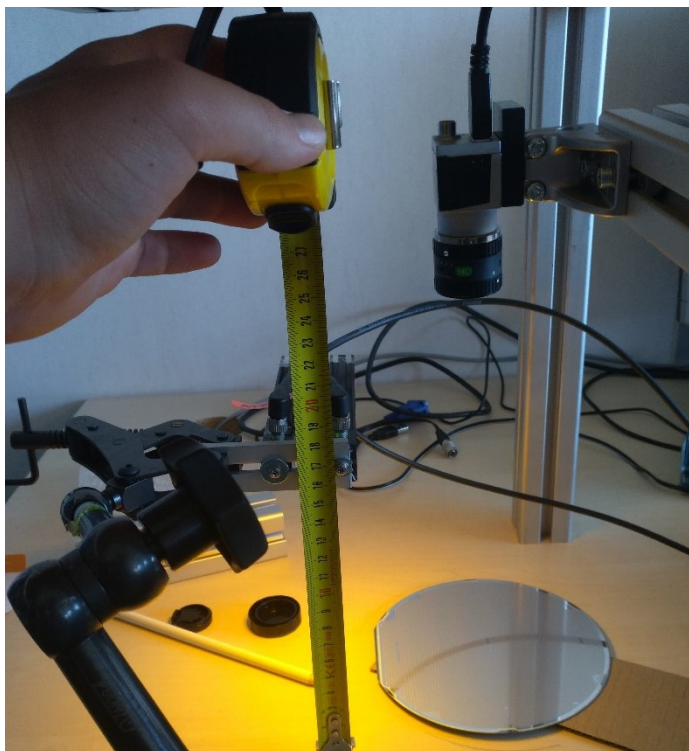


Obrázek 14 – Problémové desky a) JRK19692-22-C5 b) PRK20079-15-B7

Jeden z prvních akceptovatelných výsledků spočíval v nasvícení dvěma světly Smart View LL120W120, které byly zhruba 1 cm vzdálené od sebe a kolmo k desce (obrázek 16). Výsledek čitelnosti popisu s tímto osvětlením byl vyřešen u druhé problémové desky (PRK20079-15-B7 obrázek 15 b), ale první problémová deska s popisem JRK19692-22-C5 (obrázek 15 a)) byla softwarově obtížně čitelná. Toto nastavení však nešlo v praxi použít, jelikož bylo nutno poskládat světla po celém obvodu desky. Na výrobní lince desky nebudou stejně orientovány. Výskyt nápisů se u desek liší, proto musel být vymyšlen systém, jenž tento výsledek zaručí po celém obvodu.



Obrázek 15 – Výsledek problémových desek s osvětlením Smart View LL120W120



Obrázek 16 – Osvětlení se dvěma světly Smart View LL120W120

Řešení pro nasvícení celého obvodu desky spočívalo v použití čtvercového světla Effilux EFFI BL_200_200 a zakrytí jeho částí kromě dvou kružnic (obrázek 17).



Obrázek 17 – Nasvícení pomocí Effilux EFFI BL_200_200

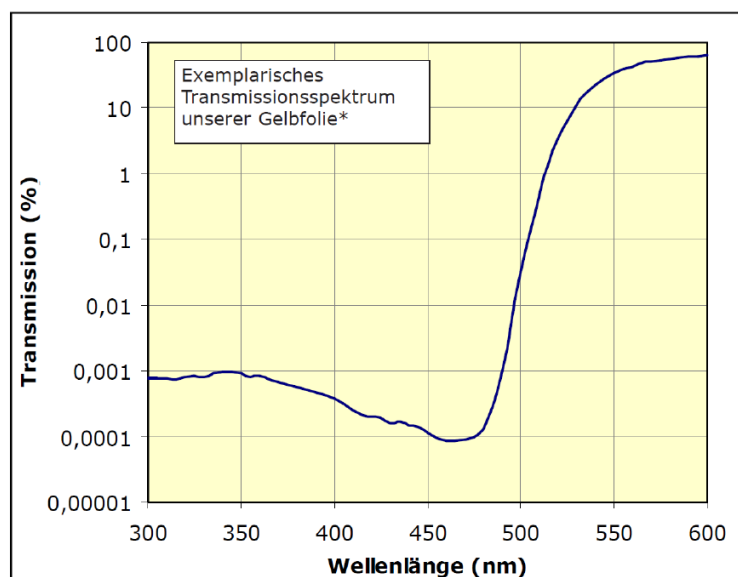
Druhé řešení spočívalo v nasvícení celého obvodu pomocí malých světel Smart View LL30W120, které by byly postaveny kolem obvodu kružnice (obrázek 18).



Obrázek 18 – Nasvícení pomocí segmentů světel Smart View LL30W120

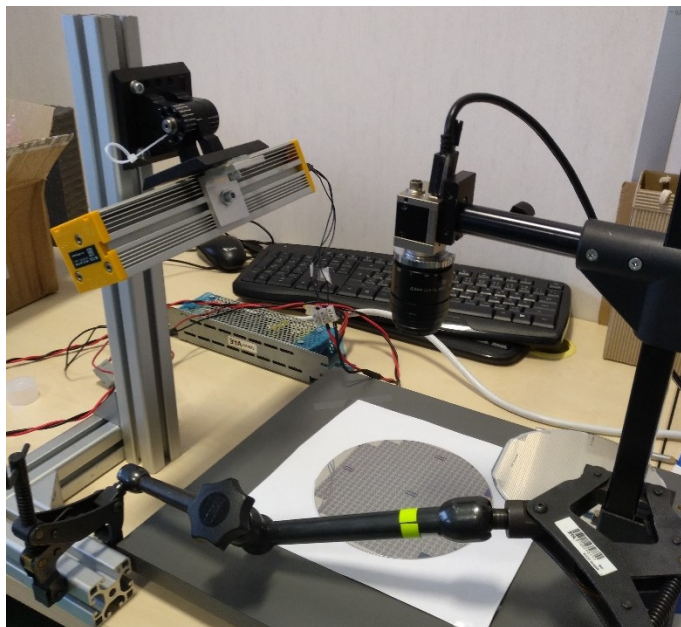
Tyto testy však nebyly úspěšné u dvou problémových desek, jelikož text ovlivňovalo boční nasvícení světel. Tento problém by se dal vyřešit rozsvícením jednotlivých segmentů světel. Ze získaných snímků se vyberou ty s nejlepším výsledkem. Toto řešení naznačuje další problémy v podobě složité sestavy s řídicím systémem trigování (ON / OFF) světel, časová náročnost vyhodnocení všech snímků a stále nejasný výsledek desky JRK19692-22-C5.

Nutno dodat, že každé světlo musí být důkladně ošetřeno žlutou ochranou folií UV-Schutz Gelbfolie Y520E212. Tato ochranná fólie chrání desky před UV světlem, které by mohlo poškodit procesory na desce, a to do vlnové délky 520 nm. Fólie funguje jako horní propust (obrázek 19).



Obrázek 19 – Graf procentuální propustnosti světla v závislosti na vlnové délce [7]

Tento charakter folie v podobě horní propusti umožňuje použít IR světlo Effilux EFFI FLEX 10_850 (obrázek 20). Ke kameře byl připojen také IR filtr Schneider 30,5 IR filter x 0,5 sn1, aby se eliminovalo světelné pozadí okolí. IR světlo dokázalo nasvítit všechny desky, až na problémovou desku s popisem JRK19692-22-C5 (obrázek 21 a), která byla čitelná pouze pod jiným úhlem. Toto řešení by vyžadovalo umístění několika IR světel pod sebou.



Obrázek 20 – Nasvícení s IR světlem Effilux



Obrázek 21 – Výsledek nasvícení problémových desek IR světlem

Testy se prováděly s různými kamerami, jednalo se o prvotní testy proveditelnosti, a tak nebylo úplně důležité, se kterou kamerou budou snímky vyhodnoceny. Nejlepší výsledek byl však s kamerou, jež byla použita při posledním testování s IR světly. Jedná se o kvalitní barevnou kameru Basler acA4112-20uc v monochromatickém módu s 1,1“ čipem a 12,3 MP rozlišením. Objekt byl vybrán Lens TS1214 MP s ohniskovou vzdáleností 12,5 mm. Zvolená ohnisková vzdálenost byla vypočítána s ohledem na velikost obvodu křemíkové desky. Vzdálenost objektivu od křemíkové desky byla cca 25 cm.

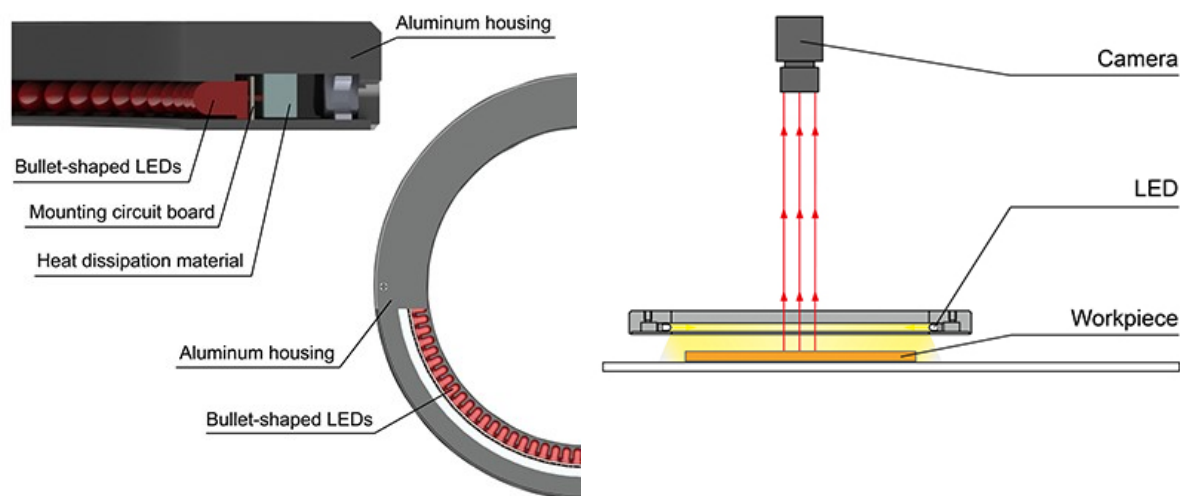
3.8 Detekce pozéru u skleněné lahvičky

Požadavek zákazníka spočíval v detekování pozéru (malý skleněný důlek viz obrázek 23, obrázek 24). Tento pozér slouží k ukotvení trnu tiskové hlavice, která tiskne na přesně dané místo potisk na skleněnou lahvičku. Detekce má posloužit k přesnému navedení trnu tiskové hlavy tak, aby potisk skleničky byl v požadovaném směru nebo v místech, kde se nacházet nemá.

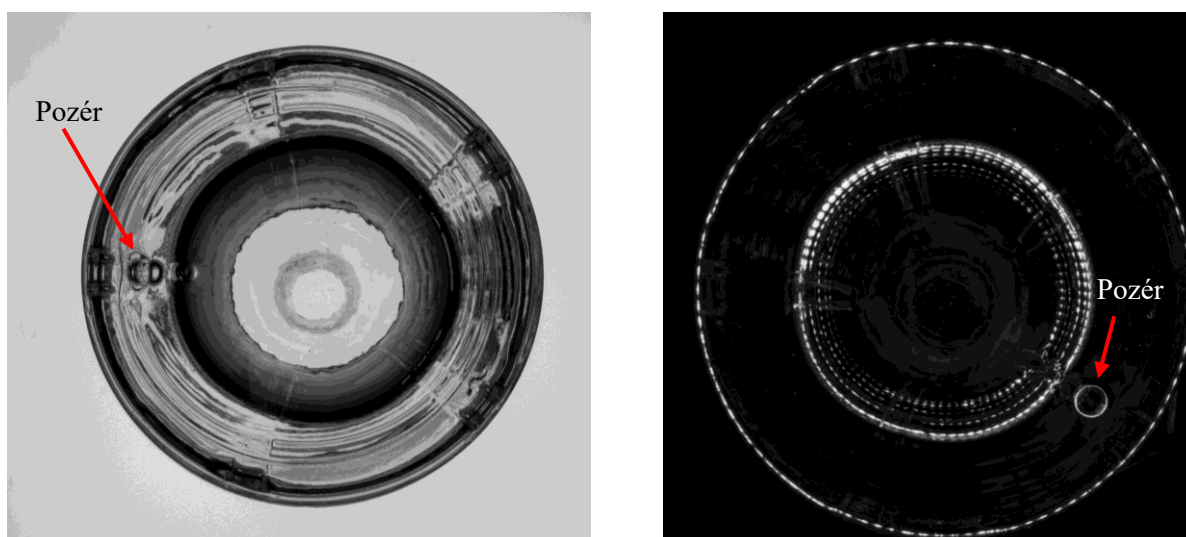
Zákazník již dříve využíval kamerový systém pro detekování pozéru, ale při změně tvaru lahvičky se v kameře objevovaly odlesky světla, které způsobovaly špatné navedení trnu a chybný potisk. Při prozkoumání tvaru dna lahvičky a pozéru, se nejprve vyzkoušelo nasvícení lahvičky pomocí zadního

nasvícení a plochého světla (označení: back light, flat dome) Effilux EFFI-BL_200_200_000, v kombinaci s kamerou Basler acA4112-20uc s 1,1“ čipem a vysokým rozlišením 12,3 MP pro co nej přesnější detekci pozéru a objektivem Kowa LM25JC10M s ohniskovou vzdáleností 25 mm. I když byla použita kvalitní kamera, užití tohoto nasvícení se ukázalo jako chybné, jelikož se v oblasti pozéru nacházely odlesky, které neumožňovaly přesné navedení trnu tiskové hlavy (viz obrázek 23 a).

Jednou z dalších možností bylo použití světla tzv. temného pole (označení: dark field) CCS LDR-146RD2-LA1. Tento typ světla má umístěny LED vodorovně v jedné řadě ve tvaru prstence (obrázek 22). Světlo se umístí do roviny se dnem skleněné lahvičky tak, aby se vodorovný povrch v kameře zobrazil tmavě a nerovnosti, od kterých se světlo odráží kolmo do kamery, bíle (obrázek 23 b). [7] Kamera nebyla měněna, vyměněno bylo pouze světlo.



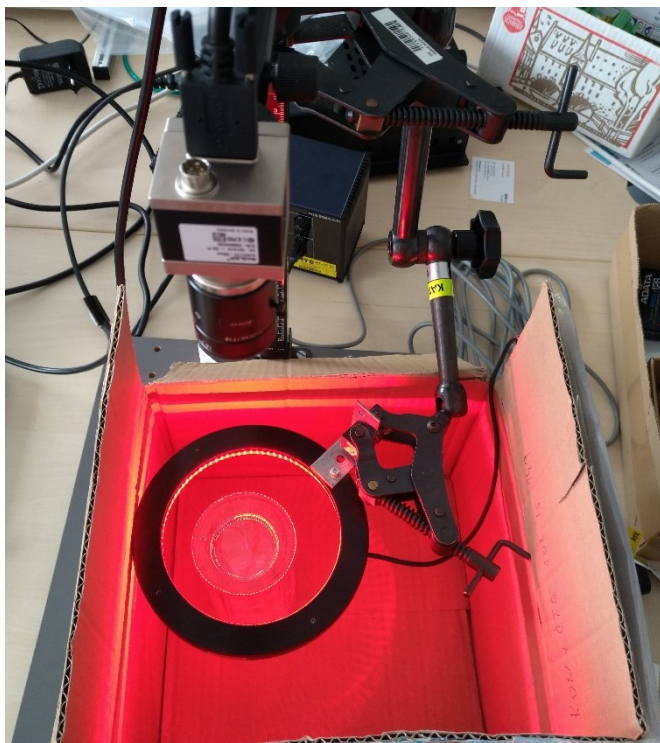
Obrázek 22 – a) Průřez osvětlovače typu temné pole[9] b) Princip použití světla[10]



Obrázek 23 – a) Světlo – Zadní nasvícení b) Světlo – Temné pole

Ze srovnání z obrázku 23 lze vidět zřetelný rozdíl v zobrazení pozéru. Při použití temného pole je možné detekovat obvod pozéru a při navedení trnu tiskové hlavy lze trefit střed důlku. Varianta

s temným polem se ukázala jako správné řešení daného problému. Výsledná kamerová sestava je pak zobrazena na obrázku 24. Vzdálenost výrobku od objektivu byla cca 23 cm. Skleněná lahvička musela být nejprve umístěna do provizorní krycí stěny, která měla za úkol chránit lahvičku před světelným znečištěním z okolí, a tak zabránit zobrazení dalších nežádoucích odlesků. Nahrazení krytu pro výrobek je možné také řešit pomocí filtrů pro kameru. Jelikož použité temné pole mělo barvu LED červenou (tzn. vlnová délka LDR-146RD2-LA1 630 nm), musel by se vybrat filtr v tomto rozsahu.



Obrázek 24 – a) Výsledná kamerová sestava b) Skleněná lahvička

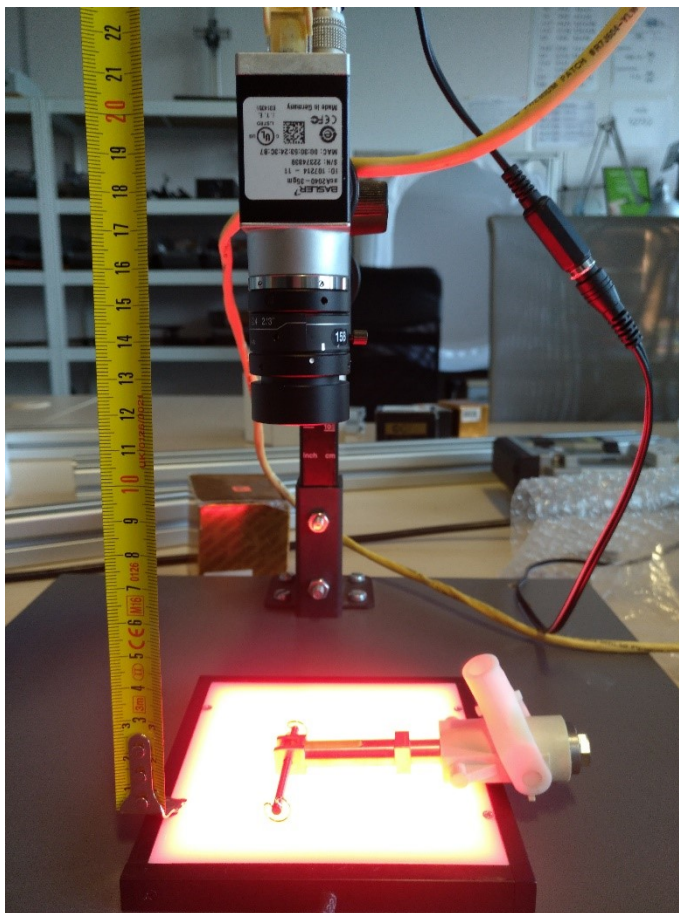
4 Seznam úkolů – programování

Software má další důležitou úlohu ve strojovém vidění. Poté, co je získán obraz z kamerové sestavy, je nutné ho dále analyzovat, zpracovat nebo vyhodnotit. Bakalářská praxe se zabývala programováním v programech od společnosti NI a to Vision Builder 2015 (VBAI) a LabVIEW 2016.

Časová náročnost: 15 dní

4.1 Aplikace pro detekování přítomnosti komponentů a měření rozměrů

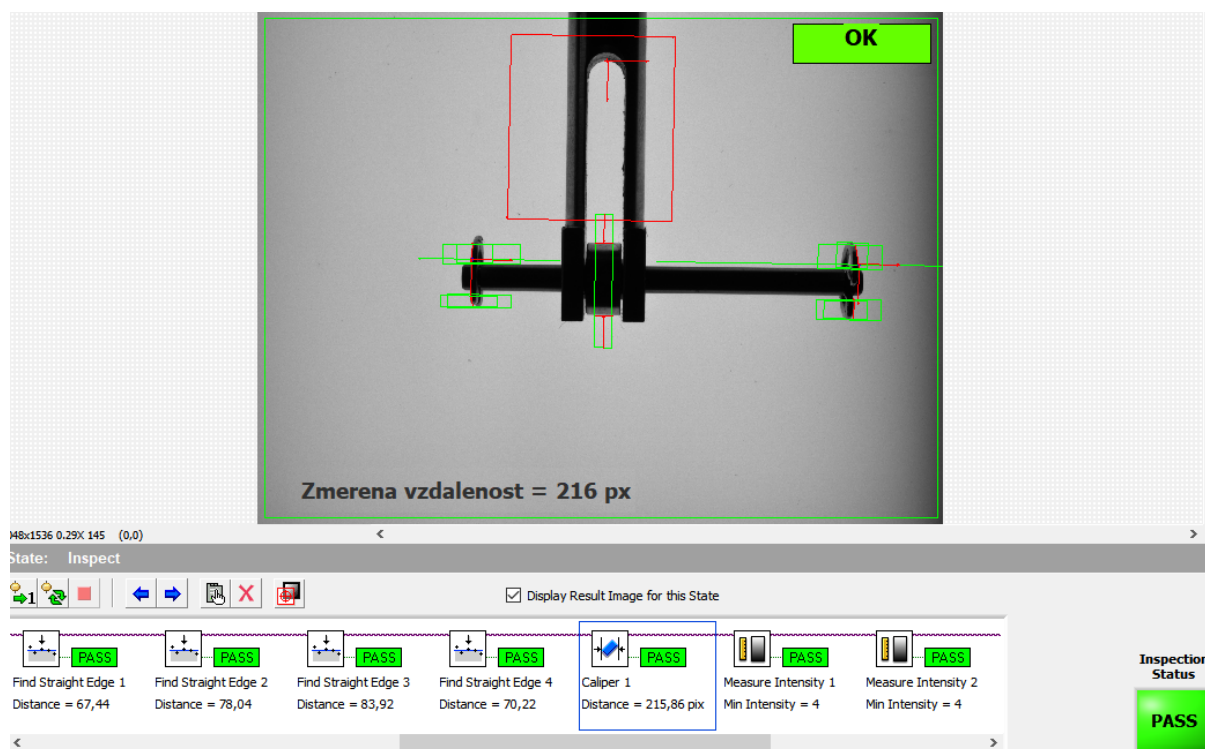
Aplikace byla vytvořena v VBAI softwaru Vision Builder 2015. Zadání spočívalo v detekování přítomnosti prvků umístěných na výrobku a měření jeho rozměrů. Aby bylo možné vytvořit aplikaci bylo nezbytné nejdříve navrhnout kamerovou sestavu. Pro tento výrobek byla zvolena kamera Basler acA2040-35gm s objektivem Computar M1224-MPW2 se zadním nasvícením (back light) Smart View LP-90R-24V (viz obrázek 25). Vzdálenost výrobku od konce objektivu byla cca 12 cm.



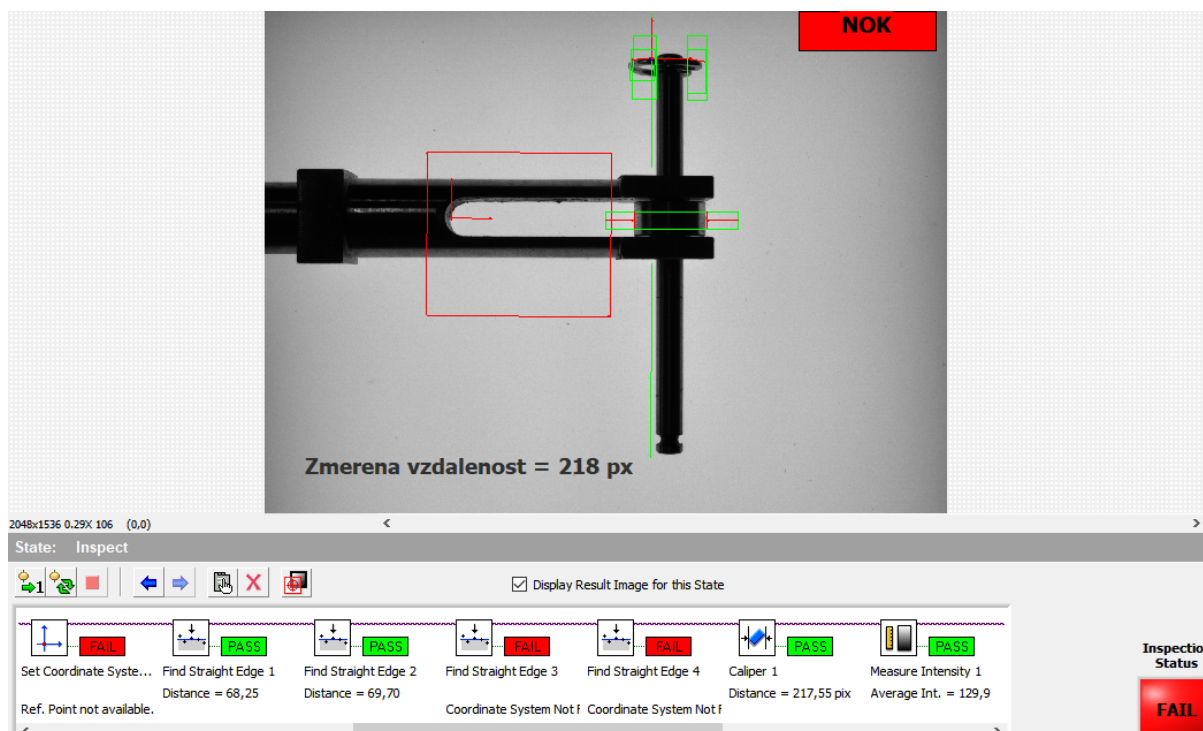
Obrázek 25 – Výsledná kamerová sestava pro detekci přítomnosti prvků

Při vytváření aplikace bylo důležité pamatovat na to, že výrobek se může různě posouvat či natáčet. Nejprve bylo nutné výrobek detekovat a určit shodu. K tomu byla použita funkce „Match Pattern“. Ve funkci se nejprve vybere vzor (oblast zájmu), podle kterého se určuje shoda. Funkci bylo nastaveno

vyhledávání shody pomocí algoritmu „Grayscale Value Pyramid“, který zaručuje dobrou míru shody pro složité textury a husté hrany. Míra shody byla nastavena na 80 % a možnost natočení výrobku o 360°. Pro pozdější navedení funkcí, které detekují přítomnost a měří rozměry prvku, bylo nutné zavést funkci koordinačního systému „Set Coordinate System“. Tato funkce určí různě natočenému výrobku souřadnice [0,0] tak, aby se pozdější funkce vykonávaly tam, kde jsou zapotřebí. Funkci byl nastaven mód pro neomezený pohyb výrobku, a to ve vodorovném, svislém a úhlovém pohybu. Pro detekci přítomnosti prvků na výrobku byla použita funkce hledání hran „Find Edges“, jenž hledá přechod mezi světlým pozadím a tmavým výrobkem. Tato funkce hledá pixely (hranu) s nejvyšším rozdílem mezi tmavým a světlým pozadím. Tento rozdíl má nastavený limit 90. Aby se nestávalo, že funkce najde náhodnou hranu vlivem zanesení nečistot na podložku, byla přidána funkce „Find Straight Edge“, která má za cíl hledat rovinu (pás) přechodu mezi tmavým a světlým pozadím. Pro správnost detekce přítomnosti byla použita ještě kontrolní funkce měření intenzity „Measure Intensity“, která v dané oblasti určí procentuální zastoupení tmavé bary (detekuje, že se v oblasti nachází prvek). Pokud toto procentuální zastoupení klesne pod úroveň 160 průměrného zastoupení světlosti pixelů v oblasti (0 = černá barva, 255 = bílá barva), systém vyhodnotí chybu. Úroveň 160 byla stanovena z průměrné intenzity pozadí pixelů bez výrobku, která se pohybovala od 170-200 pixelů. Měření velikosti prostřední části výrobku je realizován pomocí funkce „Caliper“. Na obrázku 26 lze pozorovat správně vyrobený kus (OK) a obrázek 27 reprezentuje špatně vyrobený kus (NOK).



Obrázek 26 – Správně vyrobený výrobek (OK kus)



Obrázek 27 – Nesprávně vyrobený výrobek (NOK kus)

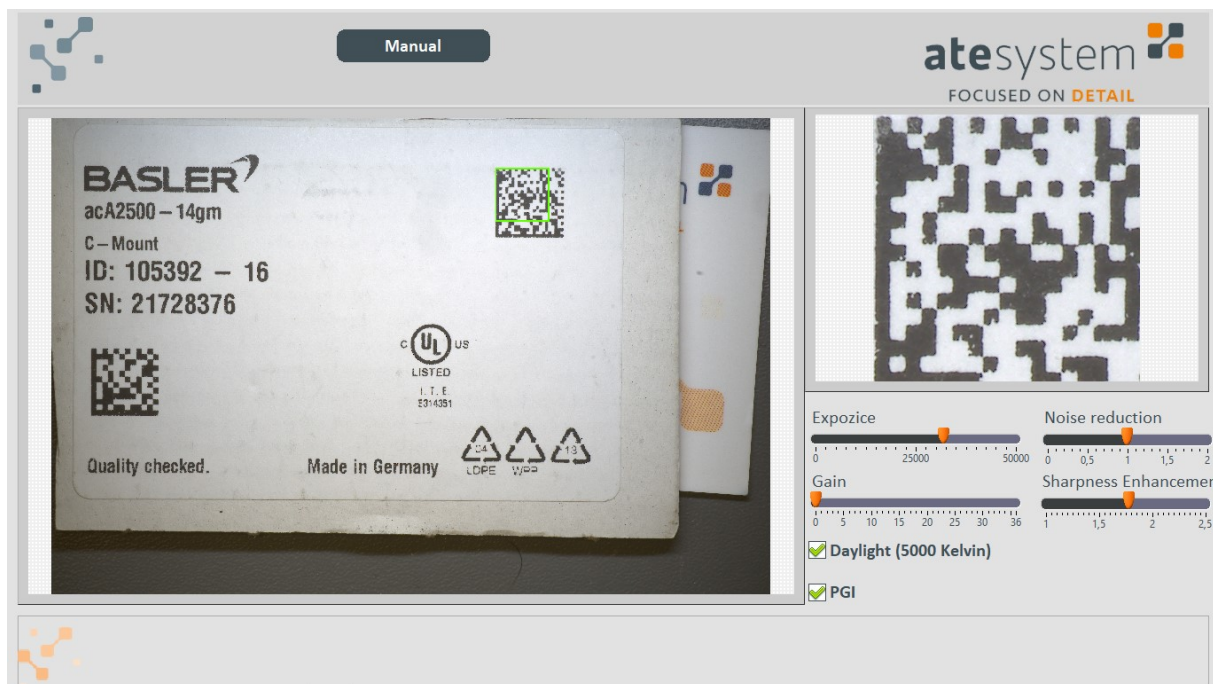
4.2 Demo pro prezentování PGI funkcí a věrnosti barev kamer Basler ace L

Tato aplikace, programována ve vývojovém prostředí LabVIEW, měla za cíl demonstrovat funkce a dovednosti kamer Basler řady ace L na elektrotechnickém veletrhu AMPER2018. Řada kamer BASLER ace L má senzory CMOS Sony Pregius s vysokým rozlišením 9–12 MP a velikosti čipu nad 1" (nejčastěji 1,1"). Tato řada, společně s řadou BASLER aca U, má díky nové technologii výroby CMOS čipů, pokročilé firmwarové vylepšení tzv. PGI funkce. Konkrétně se jednalo o barevnou kameru acA4112-20uc s rozlišením 12 MP a velikostí čipu 1,1".[11]

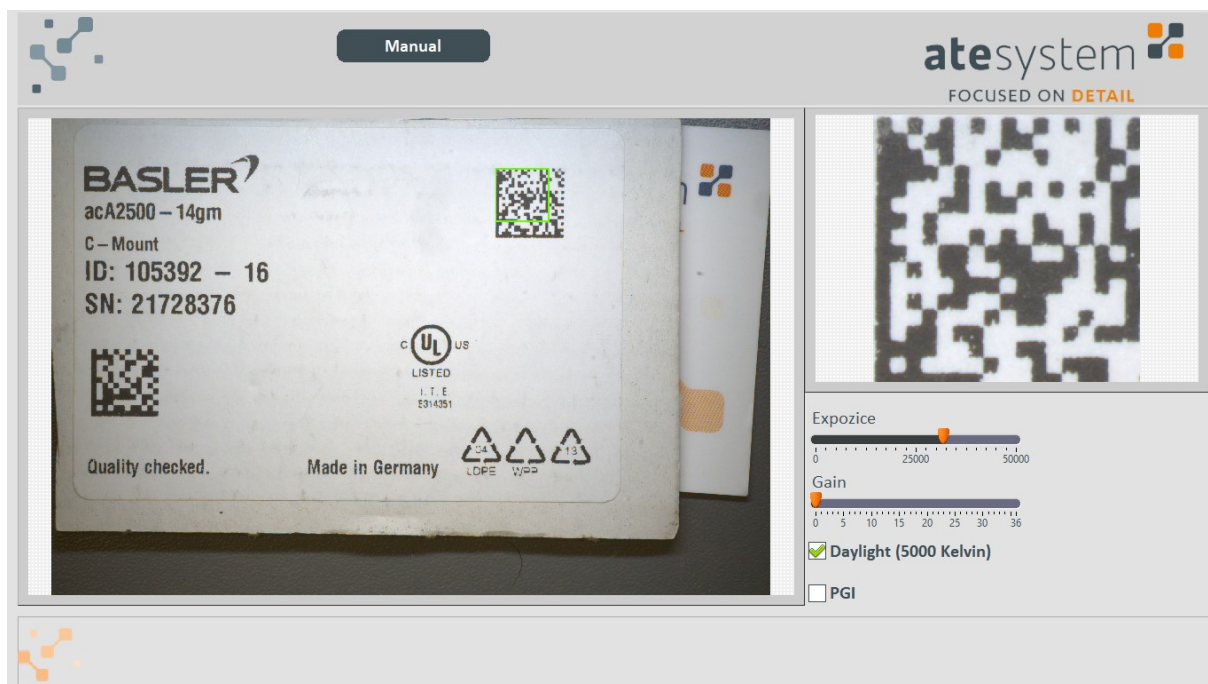
PGI funkce zlepšuje ostrost obrazu, snižuje šum, poskytuje barevný anti-aliasing i přesnější zobrazení barev (pomocí dopočítávání barev 5x5 debayering). Zjednodušeně jde o interpolační algoritmus přizpůsobený pro vylepšení ostrosti obrazu a potlačení šumu. Vylepšení ostrosti je užitečné pro zpracovávání a čtení textových nebo číselných informací. Potlačení šumu pomáhá kamerám zobrazit kvalitní obraz při špatných světelných podmínkách. Funkce 5x5 debayering dokáže průměrovat pixely v okolí, a tak definovat lépe barevné přechody a minimalizovat artefakty v obraze. Hlavní výhoda PGI funkce je ta, že dokáže tyto úpravy provádět v reálném čase, a to přímo na FPGA čipu kamery, tudíž nezatěžuje následné zpracování obrazu v PC.[12]

Čelní panel aplikace má jeden hlavní přepínač (tlačítko). Úkolem tohoto tlačítka je přepínat mezi dvěma hlavními režimy běhu aplikace. Jedná se o režim „Manual“ a „Auto“. V „Auto“ režimu běží aplikace automaticky, to znamená, že v deklarovaném časovém intervalu se vykonávají režimy „bez barevného prostoru“, „barevný prostor daylight 5000“ a „PGI funkce“. V manuálním režimu umožňuje aplikace uživateli měnit parametry pomocí rozhraní. Rozhraní má na výběr režimy

expozice, zesílení, přirozené denní světlo (daylight 5000) a PGI funkce, které mohou být uživatelem nastaveny. PGI funkce má navíc dva režimy modifikace – redukce šumu a ostrost hran. V praxi se nejčastěji nastavují tyto funkce někde blízko středu, jak lze pozorovat na obrázku 28. Patrný rozdíl jde vidět na obrázku 29, kde jsou vypnuty PGI funkce, obraz je proto výrazněji rozmazán. U aplikací, jež jsou zaměřeny na čtení textové nebo obrazové informace v podobě kódů nebo pruhů, jsou tyto funkce nepostradatelné.



Obrázek 28 – Čelní panel, PGI funkce zapnuty



Obrázek 29 – Čelní panel, PGI funkce vypnuty

[illegible]

Tato funkční aplikace byla použita na veletrhu AMPER2018, celkovou kamerovou sestavu s funkční aplikací lze vidět na obrázku 31.



Obrázek 31 – Ukázka celkové sestavy

5 Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe

V průběhu bakalářské praxe jsem nejvíce čerpal z předmětů Virtuální instrumentace 1 a 2, které mě naučily implementovat kód v prostředí LabVIEW. V programové části jsem také uplatnil znalosti z předmětů Systémy řízení v reálném čase a Základy programování řídicích systémů, jež mě naučily řídit tok programů a základní techniky programování (např. stavový automat). Dobrou přípravu do sensorové problematiky jsem nastudoval v předmětu Senzory a měření. Nezanedbatelnou přípravu do optiky jsem získal v předmětu Fyzika 1. Mnoho jednodušších úkolů, jako bylo měření multimetrem nebo pájení, jsem uplatnil z předmětů Elektrická měření a Základy konstrukčních technologií v elektrotechnice. Jelikož jsem celou praxi strávil na pracovišti, kde jsem pracoval s různými elektrickými zařízeními, musel jsem se řídit bezpečnostními pokyny poskytnutými v předmětu Bezpečnost v elektrotechnice.

6 Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe

Nejvíce vědomostí mi scházelo z oblasti strojového vidění. Moje vědomí o výběru komponent (objektivy, kamery, světla atp.) pro testy proveditelností bylo velmi nízké. Do problematiky mě však rychle zaškolili kolegové z kamerového oddělení a také firemní školení s názvem „Základy strojového vidění“. V aplikační části mi chvíli trvalo, než jsem se začal orientovat v VBAI vývojovém prostředí, jelikož na škole jsem se s tímto prostředím setkal pouze v jedné laboratorní úloze v předmětu Senzory a měření. V programovém prostředí LabVIEW mi scházely některé znalosti o funkcích pro práci se zpracováním obrazu IMAQdx. Také mi kolegové ukázali předchozí aplikace se zpracováním obrazu a připojením kamery do LabVIEW, ze kterých jsem čerpal při návrhu aplikace.

7 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe

Výsledkem mé práce ve společnosti ATEsystem s.r.o. byl návrh kamerových sestav, výběr komponent a programování ve vývojových prostředích VBAI a LabVIEW. Během bakalářské praxe jsem mohl pozorovat, jak se řada mých řešení v oblasti návrhu kamerových komponent přenesla do skutečné podoby. Načerpal jsem mnoho zkušeností z oblasti strojového vidění a automatizace. Přínosem pro mě také byla práce v týmu, komunikace ve firemním prostředí a práce s lidmi.

Literatura

- [1] *ATEsystem s.r.o. - komponenty pro strojové vidění* [online]. Ostrava: ATEsystem, ©2016 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://atesystem.cz/index.php/cs/o-nas>
- [2] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění. Část 1, Základní principy a hardware*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [3] Odborný kurz Základy strojového vidění. In: *Kamery ATEsystem* [online]. 2017: ATEsystem, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: http://kamery.atesystem.cz/site/assets/files/1729/dsc01581_c.jpg
- [4] GREŠ, Tomáš. *Strojové vidění a kamery*. Materiál společnosti ATEsystem, s.r.o.
- [5] GREŠ, Tomáš. *Objektivy*. Materiál společnosti ATEsystem, s.r.o.
- [6] Rozdíl mezi standardním a telecentrickým objektivem. In: *Analýza obrazu* [online]. ABBAS, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: http://www.analyza-obrazu.cz/uploads/RTEmagicP_Standard_telecentric.jpg
- [7] UV ochranná folie. In: *Microchemicals* [online]. Ulm: Microchemicals, 2015 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: https://microchemicals.com/micro/dx/Technisches_Datenblatt_DX_Y520E212_DE.pdf
- [8] *CCS Inc.* [online]. Kyoto (Japonsko): CCS, 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.ccs-grp.com/products/series/4>
- [9] Průřez temného pole LDR-146-LA1. In: *CCS Inc.* [online]. Kyoto (Japonsko): CCS, 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.ccs-grp.com/shared/images/products/ldr_la1/ldr_la1_03.jpg
- [10] Princip funkce temného pole. In: *CCS Inc.* [online]. Kyoto (Japonsko): CCS, 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.ccs-grp.com/shared/images/products/ldr_la1/ldr_la1_05.jpg
- [11] *Basler řady ace U a ace L* [online]. Ahrensburg (Německo): Basler, 2018 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/product-highlights/ace-u-and-ace-l/>
- [12] *PGI funkce pro kamery* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2016 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/novinky/nova-sada-funkci-pgi-pro-kamery-v-dopravnich-aplikacich/>
- [13] BREISS, Thomas J. *Effective LabVIEW Programming*. NTS Press. ISBN 978-1-934891-08-7

Seznam příloh

Adresářová struktura přiloženého CD obsahuje 2 složky:

- Složka source – obsahuje zdrojové kódy, který byly vytvořeny v rámci této bakalářské práce
- Složka thesis – obsahuje text diplomové práce a naskenované zadání DP